

文章编号: 0253-9721(2007)10-0018-05

山羊绒纤维的拉伸性能

侯秀良^{1,2}, 高卫东¹, 王善元², 周启澄²

(1. 江南大学生态纺织品教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 东华大学纺织学院, 上海 201620)

摘要 研究了山羊绒纤维的拉伸性能以及单纱的拉伸松弛性能, 并与细支羊毛纤维进行对比。研究表明: 山羊绒纤维的比强度、拉伸模量、松弛时间高于羊毛; 在较小定伸长条件下, 山羊绒纱线拉伸应力松弛速率慢于羊毛纱线, 即山羊绒纱线比羊毛纱线难定形, 这些力学性能的差异是由于山羊绒纤维 α 结晶度高于羊毛; 在80~130℃干热条件下, 山羊绒纱线的拉伸应力松弛速率及其定形率均随温度的提高而提高; 当温度高于120℃时, 提高不显著。

关键词 山羊绒; 细支羊毛; 拉伸性能; 应力松弛; 定形率

中图分类号: TSI 01.921.51 文献标识码: A

Tensile properties of cashmere fiber

HOU Xiuliang^{1,2}, GAO Weidong¹, WANG Shanyuan², ZHOU Qicheng²

(1. Key Laboratory of Science & Technology of Eco-Textile, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. College of Textile, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract This paper investigates the tensile properties of cashmere fibers and the tensile relaxation of cashmere single yarn in comparison with those of super-fine merino wool and wool yarn. It shows that the specific tenacity, tensile modulus and relaxation time of cashmere fiber are higher than those of wool; the relaxation rate of tensile stress of cashmere yarn is lower than that of wool yarn under the condition of small constant rate of extension, that is, cashmere yarn is more difficult to setting than wool yarn. These differences in mechanical properties between cashmere and wool fibers are resulting from that the α -crystallinity of cashmere fiber is higher than that of wool. At different temperatures from 80℃ to 130℃, the relaxation rate of tensile stress and degree of setting increase with the rising of temperature. However, when temperature is above 120℃, the increase of relaxation rate and degree of setting is not remarkable with the higher temperature.

Key words cashmere; super-fine wool; tensile property; stress relaxation; setting rate

纤维的性能是由其结构决定的, 有关山羊绒纤维性能的研究已有较多报道, 但多侧重于实验, 理论分析尚不够深入。本文对比研究了山羊绒、羊毛纤维的强伸性能, 尤其是比强度与拉伸模量, 从理论上解释了山羊绒纤维的拉伸应力-应变曲线的特征, 并选择了一种能较好拟合该拉伸应力-应变曲线的非线性三元件黏弹性模型, 在此基础上, 研究、比较了山羊绒、羊毛单纱在较小定伸长条件下拉伸松弛性能以及干热条件下定形温度对山羊绒拉伸松弛速

率、定形率的影响。

1 实验

1.1 试样

上海纺织研究院提供的内蒙古产分梳白山羊绒, 80支(品质支数)澳毛毛条以及用这2种原料采用半精纺工艺分别加工的21 tex 100%山羊绒单纱, 100%羊毛单纱, 单纱捻度均为650捻/m。

收稿日期: 2006-07-19 修回日期: 2006-11-16

作者简介: 侯秀良(1968—), 女, 副教授, 博士。主要研究领域包括毛、绒类纤维的结构与性能及天然染料的应用等。E-mail: houxl@mail.dhu.edu.cn。

1.2 仪器

光学显微镜, XQ-1 型单纤维强力机, Rheometric Scientific DMTA IV 动态热机械分析仪。

1.3 实验方法及评价指标

在单纤维拉伸实验前,用光学显微镜测试其直径,每根纤维测5个位置,其平均值为该根纤维的直径(μm),并将其换算为 dtex。单纤维拉伸实验时,输入所测纤维的线密度(dtex),实验完成后仪器可自动计算出纤维的比强度、拉伸模量及断裂比功等。单纤维强伸性能测试参数:试样长度10 mm;下夹头下降速度20 mm/min;山羊绒纤维预加张力100 mg,羊毛纤维预加张力为200 mg;每种样品测定50根,并计算强伸指标的平均值。

采用 Hearle 法确定山羊绒、羊毛纤维有代表性的拉伸应力-应变曲线,即选出强力、断裂伸长率及拉伸模量最接近平均值的单纤维的强伸曲线为该样品的代表性曲线^[1]。

采用 Rheometric Scientific DMTA IV 动态热机械分析仪测试山羊绒、羊毛纱线在较小定伸长条件(1.5%拉伸应变)以及不同温度下(80,90,100,110,120及130℃)的拉伸应力,每个样品测2个试样。图1为山羊绒单纱80℃时的拉伸及拉伸应力松弛曲线,可以看出,纱线在开始拉伸1s时拉伸力 $F(1)$ 达到最大,然后拉伸力逐渐松弛,在某一时间 $t(s)$ 时拉伸力为 $F(t)$,假设单纱直径在拉伸、松弛过程中保持不变。拉伸应力松弛的指标:

$$\text{残余应力率} = \alpha(t) / \alpha(1) = F(t) / F(1)$$

$$\text{拉伸变形程度} = \frac{F(1) - F(t)}{F(1)} \times 100\%$$

拉伸应力松弛速率为残余应力率-时间对数关系拟合直线斜率的绝对值。

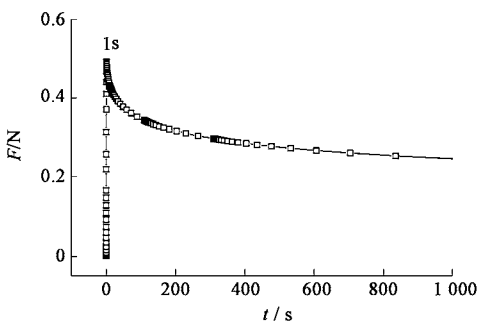


图1 山羊绒单纱拉伸及拉伸应力松弛曲线
Fig.1 Tensile curve and stress-relaxation curve of cashmere single yarn

2 结果与讨论

2.1 山羊绒、羊毛纤维强伸性能对比

山羊绒、羊毛纤维强伸性能对比见表1。采用 t 检验,在 $\alpha = 0.05$ 水平下与羊毛相比,山羊绒单纤维线密度小,断裂强力低,拉伸模量高,比强度高,但断裂伸长率、断裂比功没有明显差异。

表1 山羊绒、羊毛纤维强伸性能对比

Tab.1 Tensile properties of cashmere fiber compared with super-fine wool fiber

项目	山羊绒	羊毛	
纤维线密度/dtex	平均值	2.39	3.30
	标准差	0.62	1.06
断裂强力/cN	平均值	3.85	4.80
	标准差	1.25	1.29
断裂伸长率/%	平均值	43.12	42.56
	标准差	5.86	6.96
比强度/(cN·dtex ⁻¹)	平均值	1.63	1.43
	标准差	0.43	0.32
拉伸模量/(cN·dtex ⁻¹)	平均值	35.17	25.08
	标准差	8.34	6.73
断裂比功/(cN·dtex ⁻¹)	平均值	0.45	0.41
	标准差	0.15	0.14

2.2 山羊绒纤维拉伸曲线的理论分析

图2为山羊绒、羊毛纤维拉伸应力-应变代表性曲线。可以看出,山羊绒、羊毛纤维的应力-应变曲线均表现出屈服区 OA(0~3%应变)、屈服区 AB(3%~30%应变)及过屈服区 BC(应变30%以上直至断裂)。与其他纤维相比,山羊绒、羊毛纤维在屈服区的斜率很小,产生的应变很大,约为27%。在过屈服区 BC,纤维的应力又随应变快速提高。

山羊绒和羊毛纤维均为 α -角肌纤维,具有二相结构,一相是棒状结晶区即双股 α -螺旋链组成的基

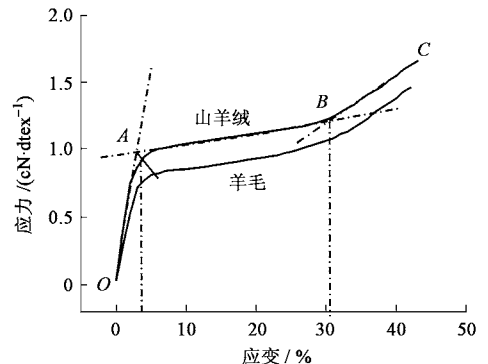


图2 山羊绒、羊毛纤维拉伸应力-应变代表性曲线
Fig.2 Representative tensile stress-strain curves of cashmere and wool fibers

原纤区,由低硫蛋白质组成,水分子难以渗进;另一相是球状基质区,主要由高硫蛋白质组成,易被水增塑。借助于 X 射线衍射分析及 DSC 技术,对预屈服区及屈服区的力学行为已得到一致的解释:在预屈服区,主要是稳定的 α 螺旋链构象的氢键、二硫键产生应变;当纤维伸长率达到屈服点时,一部分氢键断裂, α 螺旋链开始伸展,逐渐转变为 β 伸展链。但对于过屈服区力学行为的解释还存在争议:主要是 Hearl 模型^[2]及 Feughelman 模型^[3]。Hearl 认为 α 角肌纤维微原纤与基质是平行伸长的,如果将微原纤与基质分开,微原纤应力-应变曲线的屈服区范围为 3%~100%,而基质在 30%应变以下,应力-应变曲线的斜率很小,在 30%应变以上,斜率突变提高,呈现出“J”形曲线,即过屈服区的斜率提高是由基质引起的。Feughe mann 认为屈服区的伸长是由于“自由”的 α 螺旋链段转变为 β 伸展链段,随着拉伸的进行,微原纤相互靠近,导致 α 螺旋链被基质“卡”住,纤维的进一步伸长是 α 螺旋链带着基质共同伸长,因而所需应力突变提高。

根据以上理论, α 角肌纤维拉伸应力-应变曲线的拉伸模量主要与 α 螺旋链的结晶度有关,结晶度高,纤维拉伸模量高。山羊绒纤维拉伸模量高于羊毛的力学性能,这与分析仪器测试结果^[4]相一致。

2.3 山羊绒纤维拉伸曲线的黏弹性模型

山羊绒、羊毛纤维拉伸应力-应变曲线有差异,其黏弹性能也可能有差异。采用图 3 所示的 Manich 非线性三元件黏弹性模型^[5]来拟合山羊绒、羊毛纤维的拉伸应力-应变代表性曲线。

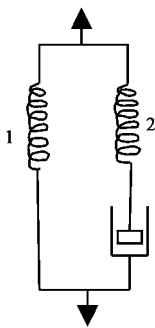


图 3 Manich 非线性三元件模型

Fig.3 Manich non-linear model with three elements

Manich 模型由 2 个非线性弹簧和 1 个牛顿黏壶组成,左边非线性弹簧 1、右边与牛顿黏壶相连的非线性弹簧 2 的应力、应变关系分别为 $\sigma_1 = b\varepsilon_1^F$, $\sigma_2 = E\varepsilon_2^D$, 牛顿黏壶应力、应变关系为 $\sigma_3 = \eta \frac{d\varepsilon_3}{dt}$ 。式中:

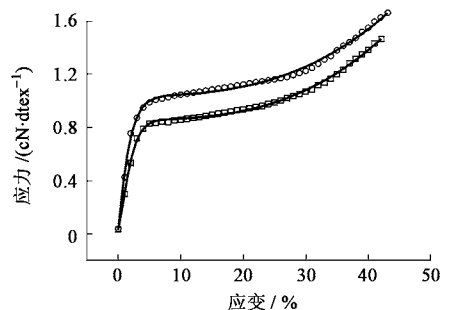
$b, \sigma_1, \varepsilon_1, F$ 分别为非线性弹簧 1 的弹簧常数 (cN/dtex)、应力 (cN/dtex)、应变 (%) 及指数; $E, \sigma_2, \varepsilon_2, D$ 分别为非线性弹簧 2 的弹簧常数、应力、应变及指数; $\eta, \sigma_3, \varepsilon_3$ 分别为牛顿型黏壶的黏滞系数 (cN·s/dtex)、应力、应变。

Manich 模型纤维的应力 σ 、应变 ε 关系为

$$\sigma(\varepsilon) = \sigma_0 + A[1 - \exp(-B\varepsilon^D)] + C\varepsilon^F \quad (1)$$

式中: σ_0 为预加张力; $A = \tau r$, $B = E/\tau r = E/A$, $C = b$, $\tau = \eta/E = \eta/AB$ 。 r 为拉伸速率 (%/s), τ 为松弛时间。本文 $r = \frac{v}{60l} \times 100 = \frac{20}{60 \times 10} \times 100 = 3.3$ (%/s)。式中: v 为拉伸速度, l 为试样长度。

采用式(1)对山羊绒、羊毛纤维拉伸应力-应变曲线拟合的结果见图 4,拟合参数见表 2。由图 4 可以看出,Manich 模型适合拟合山羊绒、羊毛纤维拉伸应力-应变曲线。表 2 中,山羊绒纤维的黏滞系数 η 大于羊毛,松弛时间 τ 也较大,表明山羊绒纤维弹性特征更明显。角肌纤维结晶区为弹性部分,无定形基质为黏性部分,结晶度高,弹性特征明显。该力学性能同样与山羊绒纤维结晶度高于羊毛的结构特点一致^[4]。



注:○—山羊绒实测点;□—羊毛实测点。

图 4 采用 Manich 模型拟合的山羊绒、羊毛纤维拉伸应力-应变曲线

Fig.4 Fitted curves of tensile stress-strain of cashmere and wool fibers by Manich model

表 2 Manich 模型对山羊绒、羊毛纤维拉伸应力-应变曲线拟合参数

Tab.2 Parameters to the fitted curves of tensile stress-strain of cashmere and wool fibers by Manich model

拟合参数	山羊绒	羊毛
b	1×10^{-5}	4.6×10^{-6}
F	2.874	3.149
E	0.408	0.265
D	1.112	1.003
η (cN·s·dtex ⁻¹)	0.34	0.19
τ s	0.83	0.72

2.4 山羊绒单纱的松弛性能

2.4.1 山羊绒、羊毛单纱拉伸松弛性能对比

由图5 山羊绒、羊毛单纱在1.5%拉伸应变、80℃热空气中残余应力率-时间关系曲线可以看出,山羊绒单纱的残余应力率大于羊毛,即山羊绒单纱的拉伸松弛速率慢于羊毛,这是由于山羊绒纤维结晶度高于羊毛,在相同条件下,大分子运动能力较弱。纱线、织物的定形过程是通过物理、化学或物理化学的处理,使其内部的应力松弛,达到最小能量平衡状态,山羊绒纤维拉伸松弛速率慢于羊毛,说明山羊绒纱线比羊毛纱线较难定形。

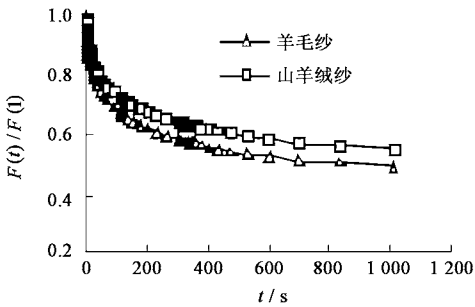
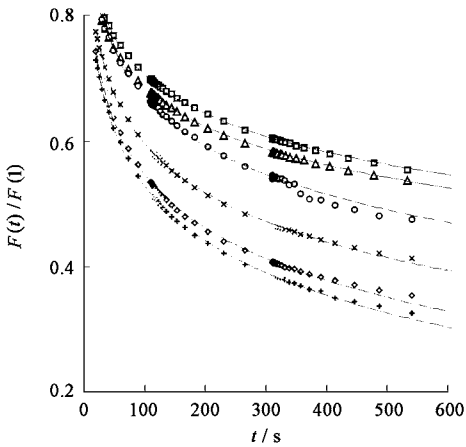


图5 山羊绒、羊毛单纱残余应力率-时间关系
Fig.5 Relationship between the percentage of residual stress and time for cashmere and wool single yarn

2.4.2 温度对山羊绒单纱拉伸松弛性能的影响

纱线残余应力过大,会导致针织物卷边及机织物纬斜,甚至导致织物上形成鸡爪印,严重影响织物的外观。因此,研究温度对山羊绒单纱拉伸松弛性



注: □—80℃; △—90℃; ○—100℃; ×—110℃;
◇—120℃; +—130℃。

图6 山羊绒单纱在不同温度下残余应力率-时间的关系
Fig.6 Relationship between the percentage of residual stress and the time for cashmere single yarn under the different temperatures

能的影响非常重要。由图6 山羊绒单纱在不同温度下的残余应力率-时间曲线可以看出,随着温度的提高,残余应力率 $F(t)/F(1)$ 减小。采用对数方程 $Y = A - B \lg x$ 对山羊绒单纱在不同温度下的残余应力率与时间(20~600s)进行拟合,其相关系数 R^2 均在0.995以上,表明山羊绒单纱在不同温度下的残余应力率与时间(20~600s)对数成负线性关系,这与 Weatherrall 的研究结果^[6]一致,而拟合参数 B 即为拉伸应力松弛速率。

图7为定形温度对拉伸应力松弛速率的影响,图8为山羊绒单纱在600s时定形率与温度的关系。由图7、8可以看出,山羊绒单纱的拉伸应力松弛速率、定形率随定形温度的提高而提高;当温度高于120℃后,拉伸应力松弛速率、定形率提高不显著。在本文干热实验条件下,山羊绒纤维玻璃化转变的起始温度为94℃,结束温度为120℃,恒压比热突变中点的温度为107℃^[7]。山羊绒纤维在玻璃化转变温度范围内,随着温度的提高,能运动的大分子链段数量以及大分子链段运动能力都明显增加,纤维松弛加快,定形率提高。当定形温度超过玻璃化转变区以后,这种变化就不再明显。

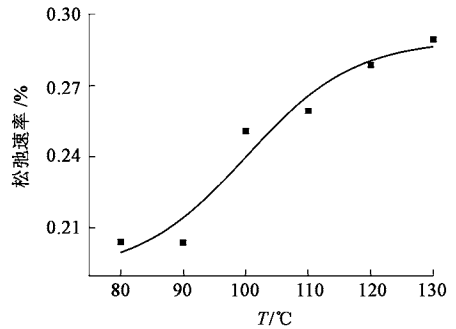


图7 山羊绒单纱拉伸应力松弛速率与温度关系
Fig.7 Relationship between the rate of the tensile stress-relaxation and temperatures

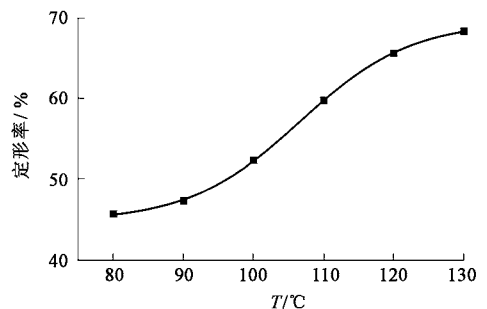


图8 山羊绒单纱在600s时定形率与温度的关系曲线
Fig.8 Relationship between the setting rates at 600s and temperatures

3 结 论

1) 与羊毛相比,山羊绒纤维比强度、拉伸模量高,弹性特征更明显,该力学特性与山羊绒纤维 α 结晶度高于羊毛相一致。

2) 非线性三元件 Manich 模型适合拟合山羊绒、羊毛纤维拉伸应力-应变曲线。

3) 山羊绒、羊毛纱线在定伸长 1.5% 的条件下,应力松弛约 20 s 后残余拉伸应力率与时间对数成负线性关系。

4) 在同样条件下,山羊绒纱线的拉伸应力松弛速率慢于羊毛纱线,即山羊绒纱线比羊毛难定形。

5) 在 80~130 °C 干热条件下,山羊绒纱线的拉伸应力松弛速率及定形率均随温度的提高而提高;当温度高于 120 °C 时,提高不显著。

FZXB

参考文献:

- [1] 于伟东,储才元.纺织物理[M].上海:中国纺织大学出版社,2002:71-122.
- [2] Hearl J W S. The international of the mechanical properties of wool fibers [C] // Proceedings of the 7th international Wool Textile Research Conference. Tokyo: The society of fiber science and technology, 1985:214-223.
- [3] Feughelman M. Model for the mechanical properties of the α -keratin cortex [J]. Text Res J, 1994, 64(4): 236-239.
- [4] 侯秀良,刘启国,王善元.采用 WAXD、DSC 技术研究山羊绒、羊毛纤维的结晶结构 [J]. 东华大学学报:自然科学版,2004,30(3):86-89.
- [5] Manich A M, Ussman M H, Barella A. Viscoelastic behavior of polypropylene fibers [J]. Text Res J, 1999, 69(5):325-330.
- [6] Weatherall I L. Stress-relaxation in wool fibres after rapid straining [J]. Journal of Federation of Asian Professional Associations, 1997(4):32-39.
- [7] 侯秀良.山羊绒纤维结构与热学性能研究 [D]. 上海:东华大学,2002:50-57.